



⑯ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 101 45 405 A 1

⑯ Int. Cl. 7:  
F 16 C 33/62

⑯ Aktenzeichen: 101 45 405.8  
⑯ Anmeldetag: 14. 9. 2001  
⑯ Offenlegungstag: 3. 4. 2003

DE 101 45 405 A 1

⑯ Anmelder:  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑯ Vertreter:  
Rösler, U., Dipl.-Phys.Univ., Pat.-Anw., 81241  
München

⑯ Erfinder:  
Meier, Sven, Dipl.-Ing., 79104 Freiburg, DE;  
Konrath, Georg, Dipl.-Ing. (FH), 79194  
Gundelfingen, DE; Blug, Bernhard, Dipl.-Phys.,  
79194 Gundelfingen, DE

⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

DE 199 22 665 A1  
WO 99 14 512 A1  
WO 01 33 091 A1

JP Patent Abstracts of Japan:  
2000240667 A;  
2001182752 A;  
06341445 A;  
2000208078 A;  
2000136828 A;  
06193637 A;  
Fast so verschleißfest und hart wie Diamant. In:  
Industrieanzeiger 14/2000, S. 40, 41;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑯ Wälzläger mit einem inneren und einem äußeren Laufring

⑯ Beschrieben wird ein Wälzläger mit einem inneren und  
einem äußeren Laufring, die jeweils eine Laufbahn auf-  
weisen, die gegenüberliegend angeordnet sind und zwi-  
schen denen Wälzkörper derart eingebracht sind, dass die  
Wälzkörper in Kontakt mit den Laufbahnen stehen, so-  
dass der innere gegen den äußeren Laufring in Umfangs-  
richtung bewegbar ist.

Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass die Lauf-  
bahnen des inneren und äußeren Lauftrings sowie die  
Wälzkörper in Oberflächenbereichen, in denen die Lauf-  
bahnen mit den Wälzkörpern in Kontakt bringbar sind,  
aus a-C:H-Material (amorpher Kohlenwasserstoff), soge-  
nanntem DLC (Diamond Like Carbon), bestehen.

DE 101 45 405 A 1

## Beschreibung

## Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Wälzlagern mit einem inneren und einem äußeren Laufring, die jeweils eine Laufbahn aufweisen, die gegenüberliegend angeordnet sind und zwischen denen Wälzkörper derart eingebracht sind, dass die Wälzkörper in Kontakt mit den Laufbahnen stehen, so dass der innere gegen den äußeren Laufring in Umfangsrichtung bewegbar ist.

## Stand der Technik

[0002] Beim Wälzlagern erfolgt die Kraftübertragung vom Wellenzapfen auf das Lagergehäuse über Wälzkörper, die zwischen den beiden Laufringen abrollen. Als Wälzkörper werden Kugeln, Zylinderrollen, Kegelrollen, Tonnenrollen und Nadelrollen verwendet.

[0003] Die Wälzkörper können ein- oder zweireihig angeordnet sein und werden von einem sogenannten Käfig in einem gleichmäßigen Abstand voneinander gehalten. Gleichzeitig verhindert dieser Käfig, vor allem bei zerlegbaren Lägern, das Herausfallen der Wälzkörper.

[0004] Die Lebensdauer von Wälzlagern, die den tribologischen Systemen (Tribologie = Wissenschaft und Technik von aufeinander einwirkenden Oberflächen in Relativbewegung) zugeordnet werden können, wird durch Reibung und Verschleiss begrenzt. Daher werden für die Herstellung von Wälzlagern teilweise hochlegierte Stähle sowie Materialien, die sich durch gute Reib- und Verschleisseigenschaften auszeichnen, verwendet. Trotzdem ist unter heutigen Gesichtspunkten die Schmierung von konventionellen Wälzlagern noch unverzichtbar, denn selbst Keramikwälzlagern mit sehr guter Verschleiss- und Korrosionsbeständigkeit sind bisher nur ansatzweise trockenlauftätig. Dies begründet auch den Drang, neue Lösungen zu suchen, um Schmierstoffe zuersetzen oder wenigstens ihre Einsatzmengen deutlich zu reduzieren. Außerdem gibt es besondere Einsatzgebiete, wie z. B. die Lebensmittelindustrie oder den Einsatz von hochtourigen Turbomolekularpumpen, in denen die Verwendung von Schmierstoffen unerwünscht ist und gegenwärtig Magneträgerungen oder sehr aufwendige Abdichtungen eingesetzt werden.

[0005] Besonders für industrielle Anwendungen werden daher die Oberflächen, insbesondere der Laufflächen sowie der Kugeln vergütet oder mit speziellen Oberflächenschichten beschichtet. Vielfach werden für die Oberflächenschichten Metallcarbide und Metallnitride eingesetzt, deren Eigenschaften hinreichend bekannt sind. Neben diesen Materialien wird den auf Kohlenstoff basierenden Schichtsystemen, wie etwa polykristallinem Diamant, tetragonalem amorphen Kohlenstoff (ta-C) oder amorphen Kohlenwasserstoffschichten (a-C; H) ein großes Anwendungspotenzial vorgeholt. Amorphe, diamantähnliche Kohlenstoffschichten eignen sich wegen ihrer Eigenschaftskombination aus hoher Härte und Verschleissfestigkeit und niedrigen Reibwerten gegenüber einer Vielzahl von Materialien besonders für tribologische Anwendungen.

[0006] Amorphe Kohlenwasserstoff-Schichten, auch als a-C : H-Schichten abgekürzt, enthalten neben Kohlenstoff noch 10 bis 30% Wasserstoff. Dieser stammt aus den zur Herstellung eingesetzten Kohlenwasserstoffgasen, wie z. B. Acetylen. Werden während der Schichtabscheidung zusätzlich Metalle eingelagert, so erhält man metallhaltige Me-C : H-Schichten, die im Gegensatz zu den a-C : H-Schichten elektrisch leitfähig sind. Eine weitere Möglichkeit zur Optimierung bestimmter Schichteigenschaften stellt die An-

lagerung verschiedener Nichtmetalle in einer a-C : H-Schicht dar. So lässt sich etwa durch die Anlagerung von Silizium die Temperaturbeständigkeit der Oberflächenschichten erhöhen. Außerdem können auch verschiedene Elemente gleichzeitig in die a-C : H-Matrix eingebaut werden, wodurch sich z. B. die Benetzungswinkel, das Klebverhalten, die Transparenz und die UV-Resistenz beeinflussen lassen. Wird statt Kohlenwasserstoffen reiner Kohlenstoff als Materialquelle verwendet, so erhält man wasserstofffreie a-C- oder i-C-Schichten mit hohem  $sp^3$ -Bindungsanteil in der amorphen Kohlenstoffmatrix. Aufgrund dieser Bindungen besitzt diese Schichten eine sehr hohe Verschleissbeständigkeit. Die i-C-Schichten bestehen daher wie Diamant nahezu vollständig aus  $sp^3$ -gebundem Kohlenstoff, der allerdings im Falle von i-C-Material ein amorphes Kohlenstoffnetzwerk bildet, während Diamant die typische Diamantkristallstruktur aufweist.

[0007] Die Materialeigenschaften von DLC zeichnen sich dadurch aus, dass sie die positiven Eigenschaften der kohlenstoffbasierten Schichtsysteme, mit Graphit, Polymeren bzw. Diamant, in sich vereinen. Je nach Herstellungsverfahren, Abscheideparameter und Zusammensetzung lassen sich die Materialeigenschaften der DLC-Schicht denen eines der obengenannten drei Arten von Schichtsystemen annähern.

[0008] Die DE 199 22 665 beschreibt einen dreidimensionalen Grundkörper, der mit einer glatten feinkristallinen Diamantschicht beschichtet ist sowie ein Verfahren zur Herstellung dieser Beschichtung. Bei dem Grundkörper kann es sich um ein Wälzlagern, ein Gleitlager, eine Gleitringdichtung oder ein Ventil handeln, bei denen mindestens eine Komponente mit der feinkristallinen Diamantschicht versehen ist. Diese feinkristalline Diamantschicht, die auf die Laufflächen von Gleit- oder Wälzlagern aufgebracht werden kann, zeichnet sich gegenüber herkömmlichen polykristallinen Diamantbeschichtungen durch eine höhere Phasenreinheit und eine verbesserte chemische Stabilität aus.

[0009] Die Grundprobleme, die bei der Verwendung polykristalliner Diamantschichten als Beschichtung der Laufflächen bei Wälzlagern auftreten, werden allerdings auch durch die Lehre der DE 199 22 665 nicht gelöst. So weist eine polykristalline Diamantschicht, trotz der in der DE 199 22 665 beschriebenen glatten Oberfläche eine Diamantkristallstruktur auf. Somit verfügt eine derartige Oberflächenschicht über eine Oberflächenrauhigkeit mit einem Reibwiderstand, der für stark tribologisch beanspruchte Systeme bei weitem nicht befriedigend ist. Außerdem kommt es auch in diesem Fall an den Korngrenzen der Diamantkristalle zu einer Aufkonzentration von Kohlenstoff, der nicht in der Diamantmodifikation vorliegt. Das Vorhandensein dieser Schwachstellen der Oberfläche hat einen erheblichen, negativen Einfluss auf die Langzeitbeständigkeit der polykristallinen Diamantschichten und damit auch der Lager.

[0010] Bei Anwendungen, die starken tribologischen Beanspruchungen unterliegen, kommen daher immer noch schmiermittelbeaufschlagte Wälzlagern zum Einsatz.

## Darstellung der Erfindung

[0011] Es gilt die Aufgabe zu lösen, ein Wälzlagern derart auszustalten, dass es neben einer guten Verschleissbeständigkeit und Härte eine geringe Rauigkeit und damit einen extrem niedrigen Reibungswiderstand aufweist, so dass das Wälzlagern ohne Schmiermittel betrieben werden kann. Zusätzlich sollen auch temperaturempfindliche, d. h. Materialien mit geringem Schmelzpunkt, als Grundwerkstoffe eingesetzt werden können.

[0012] Die Lösung der der Erfindung zugrundeliegenden Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Vorteile des Weiter-

bildungen des Erfindungsgedankens sind Gegenstand der Unteransprüche sowie aus dem nachfolgenden Beschreibungstext zu entnehmen.

[0013] Erfindungsgemäß ist ein Wälzlager mit einem inneren und einem äußeren Lauftring, die jeweils eine Laufbahn aufweisen, die gegenüberliegend angeordnet sind und zwischen denen Wälzkörper derart eingebracht sind, dass die Wälzkörper in Kontakt mit den Laufbahnen stehen, so dass der innere gegen den äußeren Laufring in Umfangsrichtung bewegbar ist, derart ausgebildet ist, dass die Laufbahnen des inneren und äußeren Lauftrings sowie die Wälzkörper in Oberflächenbereichen, in denen die Laufbahnen mit den Wälzkörpern in Kontakt bringbar sind, aus a-C : H-Material (amorpher Kohlenwasserstoff), sogenanntem DLC (Diamond Like Carbon), bestehen.

[0014] Das Wälzlager, das als Kugel-, Zylinderrollen-, Kegelrollen-, Tonnenrollen- oder Nadelrollenlager ausgebildet ist, zeichnet sich dadurch aus, dass es aufgrund der Beschichtung mit diamantähnlichen Kohlenstoffschichten oder amorphen Kohlenwasserstoffsichten (DLC-Material) vollkommen Schmiermittel-frei betreibbar ist. Durch die auf die verschiedenen Komponenten des Lagers aufgebrachten diamantähnlichen Schichten ist gewährleistet, dass es zu keinem Zeitpunkt zu einem Kontakt zwischen den Grundwerkstoffen kommt. Dies wird dadurch sichergestellt, dass entweder die Wälzkörper und die Laufringe vollständig aus a-C : H-Material bestehen, oder die Wälzkörper und die Laufringe jeweils eine aus a-C : H-Material bestehende Oberfläche aufweisen, oder aber die Wälzkörper oder die Laufringe eine aus a-C : H-Material bestehende Oberflächenschicht aufweisen, während die mit dieser Oberflächenschicht in Berührung stehenden Wälzkörper bzw. Laufringe vollständig aus a-C : H-Material bestehen.

[0015] Bei der erfindungsgemäßen Gestaltung eines Wälzlagers kommt es zur Reibung zwischen zwei Körpern, die wenigstens teilweise aus DLC-Material bestehen. Hierbei kommt es in gewissem Umfang zu einer Schichtübertragung, so dass sich eine aktive Zwischenschicht, die als Passivierungsschicht dient, zwischen den gegeneinander abwälzenden Körpern bildet. Damit ist der Einsatz eines zusätzlichen Schmiermittels nicht notwendig und auch häufige Wechsel der Lager bzw. ein relativ hoher Aufwand bei der Wartung verhindert entsprechenden Betriebskosten ist bei einem erfindungsgemäß ausgeführten Lager nicht erforderlich.

[0016] Verglichen mit den in der Einleitung beschriebenen polykristallinen Diamantschichten werden die amorphen Kohlenstoff-Schichten bei niedrigen Beschichtungstemperaturen hergestellt. Während die bisher bekannten harten Beschichtungsmaterialien typischerweise bei Temperaturen um 400°C hergestellt werden, erfolgt die Beschichtung mit DLC-Schichten bei Temperaturen unter 200°C, so dass auch temperaturempfindliche Materialien als Grundwerkstoff eingesetzt werden können. Die Temperaturfestigkeit der DLC-Schichten selber liegt bei etwa 400°C, bei bestimmten Modifikationen auch darüber.

[0017] Ein weiterer Vorteil der DLC-Beschichtungen ist, dass diese vorzugsweise unmittelbar auf das Grundmaterial aufgebrachten Oberflächenschichten aus a-C : H-Material besonders hart und trotzdem elastisch sind und sich gleichzeitig durch eine besonders gute chemische Stabilität und Korrosionsbeständigkeit auszeichnen.

[0018] Außerdem werden durch die geringe Adhäsionsneigung der DLC-Schichten, Kaltverschweißungen und Verklebungen, wie sie bei anderen Wälzlagern auftreten können, vermieden.

[0019] Im Weiteren werden die besonderen Vorteile des erfindungsgemäß Wälzlagers im einzelnen beschrieben.

[0020] Vorteilhaft gegenüber den im Stand der Technik genannten polykristallinen Diamantschichten ist bei DLC-Schichten die wesentlich geringere Oberflächenrauhigkeit und bessere Haftung. Die geringen Rauheitswerte werden insbesondere dadurch erreicht, dass sich im Gegensatz zu den polykristallinen Diamantschichten, die eine typische Diamantkristallstruktur aufweisen, bei der Verwendung von DLC-Material ein amorphes Kohlenstoffnetzwerk auf der Oberfläche bildet. Dieses amorphe Kohlenstoffnetzwerk zeichnet sich durch eine sehr homogene Struktur aus.

[0021] Aufgrund der sehr guten Phasenreinheit besitzen die Oberflächen aus DLC-Material eine besondere chemische Stabilität und eignen sich in besonderem Maße für den Einsatz in tribologisch bzw. tribo-chemisch stark beanspruchten Komponenten.

[0022] Durch die erfindungsgemäße Verwendung von DLC-Material sowohl für die Laufflächen der Laufringe als auch für die Wälzkörper wird ein wesentlich besseres tribologisches Verhalten der Wälz- und Gleitkontakte erreicht. Ein Teil der jeweiligen DLC-Schicht löst sich oberflächlich ab, so dass es in der Zwischenzone zwischen den Reibpartnern zur Bildung einer aktiven Zwischenschicht kommt. Aufgrund dieser aktiven Zwischenschicht, die eine konventionelle Schmiermittelschicht ersetzt, zeichnet sich ein Wälzlagern, bei dem sowohl die Wälzkörper als auch die Laufflächen der Laufringe wenigstens zu einem Teil aus DLC-Material bestehen, durch hervorragende Trockenlauf-eigenschaften aus. Die Wälzkörper und/oder die Laufringe bestehen aus legiertem Stahl oder Keramik und sind erfindungsgemäß entweder mit einer Oberflächenschicht aus DLC versehen oder bestehen vollständig aus amorphem Kohlenwasserstoff sind:

[0023] Probleme bezüglich der Haft- und Bruchfestigkeit können sich jedoch in jenen Fällen ergeben, in denen Substratmaterial beschichtet wird, das deutlich weicher als das Schichtmaterial ist. Aufgrund des sogenannten Eierschalen-Effektes kann es bei dieser Beschichtungskonstellation bei hohen Flächenpressungen zu Schichtbrüchen kommen. Diese Schichtbrüche sind darauf zurückzuführen, dass die harte Oberfläche nicht zäh genug ist, um den Verformungen des Substratmaterials folgen zu können. Die Risse bilden sich vorzugsweise an Schwachstellen in der Oberflächenbeschichtung aus. Derartige Stellen sind insbesondere Bereiche mit ungleichmäßigen Schichtdicken, Einschlüssen von Fremdmaterialien oder Schwachstellen aufgrund einer bestimmten Oberflächenstruktur.

[0024] In besonderem Maße stellen auch Korngrenzen der Diamantkristallinen polykristallinen Diamantschichten derartige Schwachstellen dar.

[0025] Werden sowohl die Laufflächen als auch die Wälzkörper eines Wälzlagers mit DLC-Material beschichtet, wie es der erfindungsgemäß Gedanke vorsieht, kann es jedoch nicht zu den oben beschriebenen Schichtabplatzungen kommen, da sich diese DLC-Schichten durch eine sehr homogene, netzwerkartige Oberfläche auszeichnen.

[0026] Damit sind erfindungsgemäß ausgeführte Wälzläger auch im Hochgeschwindigkeitsbereich und auch hier vorzugsweise ohne zusätzliches Schmiermittel einzusetzen.

[0027] Weiterhin sind die erfindungsgemäßen Beschichtungen, sowohl der Laufflächen als auch der Wälzkörper mit DLC-Material, neben ihrer Härte und Elastizität mit einer hervorragenden Korrosionsbeständigkeit und einer geringen Adhäsionsneigung gepaart. Aufgrund der sehr guten Trockenlauf-eigenschaften kann das erfindungsgemäß Wälzlagern daher für alle herkömmlichen Anwendungen eingesetzt und darüber hinaus auch in Anlagen, in denen chemische Prozesse mit aggressiven Medien (z. B. Halogene und Halogenwasserstoffe) ablaufen, verwendet werden.

## Patentansprüche

1. Wälzlagern mit einem inneren und einem äußeren Laufring, die jeweils eine Laufbahn aufweisen, die gegenüberliegend angeordnet sind und zwischen denen Wälzkörper derart eingebracht sind, dass die Wälzkörper in Kontakt mit den Laufbahnen stehen, so dass der innere gegen den äußeren Laufring in Umfangsrichtung bewegbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Laufbahnen des inneren und äußeren Laufrings sowie 10 die Wälzkörper in Oberflächenbereichen, in denen die Laufbahnen mit den Wälzkörpern in Kontakt bringbar sind, aus a-C : H-Material (amorpher Kohlenwasserstoff), sogenanntem DLC (Diamond Like Carbon), bestehen.
2. Wälzlagern nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Wälzlagern schmiermittelfrei betreibbar ist.
3. Wälzlagern nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass 20 die Wälzkörper und die Laufringe vollständig aus a-C : H-Material bestehen oder die Wälzkörper und die Laufringe jeweils eine aus a-C : H-Material bestehende Oberflächenschicht aufweisen oder 25 die Wälzkörper oder die Laufringe eine aus a-C : H-Material bestehende Oberflächenschicht aufweisen, während die mit dieser Oberflächenschicht in Berührung stehenden Wälzkörper bzw. Laufringe vollständig aus a-C : H-Material bestehen.
4. Wälzlagern nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberflächenschicht aus a-C : H-Material unmittelbar auf ein Grundmaterial, aus dem die Wälzkörper bzw. die Laufringe bestehen, aufgebracht ist.

35

40

45

50

55

60

65